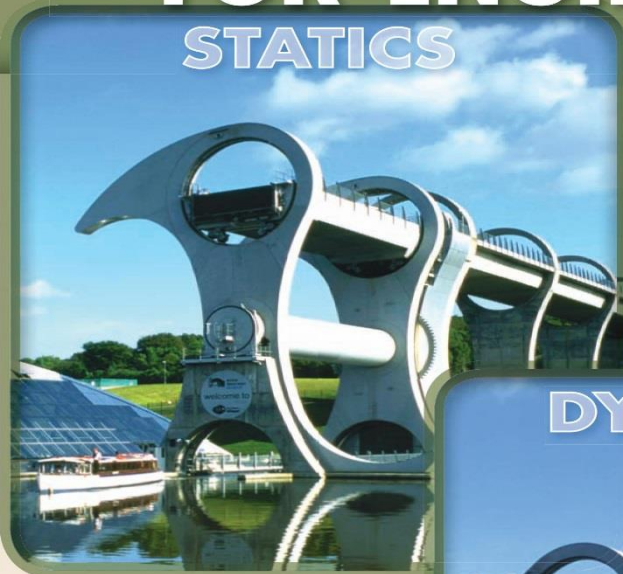


# Mecanică vectorială pentru ingineri

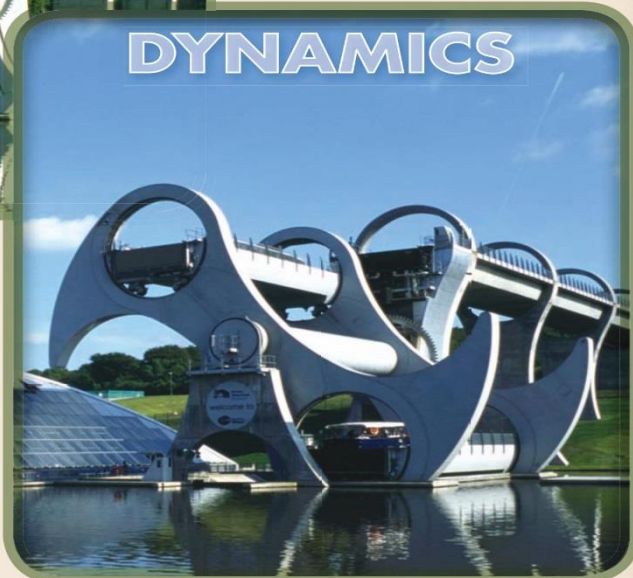
TRADUCERE DE  
**NICOLAE COMAN**  
după lucrarea

## VECTOR MECHANICS FOR ENGINEERS

STATICS



DYNAMICS



**BEER | JOHNSTON | MAZUREK | CORNWELL | EISENBERG**

Ninth Edition

NINTH EDITION

# VECTOR MECHANICS FOR ENGINEERS

## Statics and Dynamics

**Ferdinand P. Beer**

Late of Lehigh University

**E. Russell Johnston, Jr.**

University of Connecticut

**David F. Mazurek**

U.S. Coast Guard Academy

**Phillip J. Cornwell**

Rose-Hulman Institute of Technology

**Elliot R. Eisenberg**

The Pennsylvania State University



**Higher Education**

Boston Burr Ridge, IL Dubuque, IA New York San Francisco St. Louis  
Bangkok Bogotá Caracas Kuala Lumpur Lisbon London Madrid Mexico City  
Milan Montreal New Delhi Santiago Seoul Singapore Sydney Taipei Toronto



# Higher Education

## VECTOR MECHANICS FOR ENGINEERS: STATICS & DYNAMICS, NINTH EDITION

Published by McGraw-Hill, a business unit of The McGraw-Hill Companies, Inc., 1221 Avenue of the Americas, New York, NY 10020. Copyright © 2010 by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. Previous editions © 2007, 2004, and 1997. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written consent of The McGraw-Hill Companies, Inc., including, but not limited to, in any network or other electronic storage or transmission, or broadcast for distance learning.

Some ancillaries, including electronic and print components, may not be available to customers outside the United States.

This book is printed on acid-free paper.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 QPV/QPV 0 9

ISBN 978-0-07-352940-0

MHID 0-07-352940-0

Global Publisher: *Raghothaman Srinivasan*

Senior Sponsoring Editor: *Bill Stenquist*

Director of Development: *Kristine Tibbetts*

Developmental Editor: *Lora Neyens*

Senior Marketing Manager: *Curt Reynolds*

Senior Project Manager: *Sheila M. Frank*

Senior Production Supervisor: *Sherry L. Kane*

Senior Media Project Manager: *Tammy Juran*

Designer: *Laurie B. Janssen*

Cover/Interior Designer: *Ron Bissell*

(USE) Cover Image: ©*John Peter Photography/Alamy*

Lead Photo Research Coordinator: *Carrie K. Burger*

Photo Research: *Sabina Dowell*

Supplement Producer: *Mary Jane Lampe*

Compositor: *Aptara<sup>®</sup>, Inc.*

Typeface: *10.5/12 New Caledonia*

Printer: *Quebecor World Versailles, KY*

The credits section for this book begins on page 1291 and is considered an extension of the copyright page.

### Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

Vector mechanics for engineers. Statics and dynamics / Ferdinand Beer . . . [et al.]. — 9th ed.

p. cm.

Includes index.

ISBN 978-0-07-352940-0 (combined vol. : hc : alk. paper) — ISBN 978-0-07-352923-3

(v. 1 — “Statics” : hc : alk. paper) — ISBN 978-0-07-724916-8 (v. 2 — “Dynamics” : hc : alk. paper)

1. Mechanics, Applied. 2. Vector analysis. 3. Statics. 4. Dynamics. I. Beer, Ferdinand Pierre, 1915–

TA350.B3552 2009

620.1'05—dc22

2008047184

[www.mhhe.com](http://www.mhhe.com)

## Contents

00. PREFATA.....	4
LISTA DE SIMBOLURI.....	5

<b>01. INTRODUCERE.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. CE ESTE MECANICA?.....</b>	<b>6</b>
<b>CONCEPTE SI PRINCIPII FUNDAMENTALE.....</b>	<b>7</b>
<b>SISTEME DE UNITATI .....</b>	<b>8</b>
<b>CONVERSIA DINTR-UN SISTEM INTR-ALTUL.....</b>	<b>12</b>
<b>METODA SOLUTIEI PROBLEMEI .....</b>	<b>12</b>
<b>PRECIZIA NUMERICA.....</b>	<b>12</b>
<b>02. STATICA PARTICULELOR .....</b>	<b>13</b>
<b>INTRODUCERE .....</b>	<b>13</b>
<b>FORTE IN PLAN.....</b>	<b>13</b>
<b>REZULTANTA A DOUA FORTE .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>VECTORI.....</b>	<b>13</b>
<b>ADUNAREA VECTORILOR.....</b>	<b>15</b>
<b>REZULTANTA UNOR FORTE CONCURENTE .....</b>	<b>16</b>
<b>DESCOMPUNEREA UNEI FORTE IN COMPONENTE.....</b>	<b>16</b>
<b>03. CORPUL SOLID: ECHIVALENTUL SISTEMELOR DE FORTE.....</b>	<b>16</b>
<b>04. ECHILIBRUL SOLIDULUI RIGID .....</b>	<b>17</b>
<b>05. DISTRIBUTIE DE FORTE: CENTRUL DE MASA SI CENTRUL DE GRAVITATIE .....</b>	<b>17</b>
<b>06. ANALIZA STRUCTURILOR.....</b>	<b>18</b>
<b>07. FORTE IN GRINZI SI CABLURI .....</b>	<b>18</b>
<b>08. FRECAREA .....</b>	<b>18</b>
<b>09. FORTE DISTRIBUITE: MOMENTUL DE INERTIE .....</b>	<b>19</b>
<b>10. METODA LUCRULUI MECANIC VIRTUAL.....</b>	<b>19</b>
<b>11. CINEMATICA PARTICULELOR .....</b>	<b>19</b>
<b>12. CINETICA PARTICULELOR: A DOUA LEGE A LUI NEWTON.....</b>	<b>20</b>
<b>13. CINETICA PARTICULELOR: METODA ENERGIEI SI A MOMENTULUI.....</b>	<b>20</b>
<b>14. SISTEME DE PARTICULE .....</b>	<b>20</b>
<b>15. CINEMATICA SOLIDULUI RIGID .....</b>	<b>21</b>
<b>16. MISCAREA IN PLAN A CORPULUI RIGID: FORTE SI ACCELERATII .....</b>	<b>21</b>
<b>17. MISCAREA IN PLAN A CORPULUI RIGID: METODA ENERGIEI SI A MOMENTULUI .....</b>	<b>22</b>
<b>18. CINETICA TRIDIMENSIONALA A SOLIDULUI RIGID .....</b>	<b>23</b>
<b>19. VIBRATII MECANICE.....</b>	<b>23</b>
<b>20. ANEXA .....</b>	<b>23</b>

## **00. PREFATA**

# LISTA DE SIMBOLURI

SIMBOL	SEMNIFICAȚIE
$a$	Constantă; rază; distanță
$A, B, C, \dots$	Reacțiuni în suporturi și legături
$A, B, C, \dots$	Puncte
$A$	Arie
$b$	Grosime, distanță
$c$	Constantă
$C$	Centroid
$d$	Distanță
$e$	Baza logaritmilor naturali
$F$	Forță
$g$	Accelerația gravitațională
$G$	Centru de gravitație
$h$	Înălțime ; săgeată a cablului
$i, j, k$	Versorii axelor de coordonate
$I, I_x, \dots$	Momente de inerție
$\bar{I}$	Moment central de inerție
$I_{xy}, \dots$	Produse de inerție
$J$	Moment polar de inerție
$k$	Constantă elastică
$k_x, k_y, k_O$	Raze de rotație
$\bar{k}$	Rază centroidală de rotație
$l$	Lungime
$L$	Lucru mecanic
$m$	Masă
$M$	Cuplu, moment
$M_O$	Moment în raport cu polul $O$
$M_O^R$	Momentul rezultat în raport cu polul $O$
$M$	Modulul unui cuplu; masa Pământului
$M_{OL}$	Momentul în jurul axei $OL$
$N$	Componenta normală a reacțiunii
$O$	Originea sistemului de coordonate
$p$	Presiune
$P$	Forță; vector
$Q$	Forță; vector
$r$	Vector de poziție
$R$	Forța rezultantă; vector rezultat; reacțiune
$R$	Raza terestră
$s$	Vector de poziție
$s$	Lungime a unui arc, a unui cablu
$T$	Forță
$T$	Tensiune
$V$	Produs vectorial
$V$	Volum; energie potențială
$w$	Sarcina pe unitatea de lungime
$W, W$	Greutate, sarcină
$x, y, z$	Coordonate rectangulare; distanțe
$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$	Coordonate rectangulare ale centroidului sau centrului de gravitație
$\alpha, \beta, \gamma$	Unghiuri

$\gamma$	Greutate specifică
$\delta$	Elongație
$\delta \mathbf{r}$	Deplasare virtuală
$\delta U$	Lucru mecanic virtual
$\lambda$	Versorul unei linii
$\eta$	Randament
$\theta$	Coordonată unghiulară; coordonată polară
$\mu$	Coeficient de frecare
$\rho$	Densitate
$\Phi$	Unghi de frecare

# 01. INTRODUCERE

## 1.1. CE ESTE MECANICA?

Mecanica este știința care descrie și prezice condițiile de mișcare sau de stare ale corpurilor sub acțiunea forțelor. Se împarte în: mecanica *solidului rigid*, mecanica *solidului deformabil* și mecanica *fluidelor*.

Mecanica solidului rigid consideră corpurile perfect rigide și poate fi divizată în *statica* și *dinamica*, primul domeniu tratând corpurile în repaus, iar al doilea pe cele în mișcare.



## 1.2. CONCEPTE SI PRINCIPII FUNDAMENTALE

Deși studiul mecanicii își are originea încă din epoca lui **ARISTOTEL** (384 – 322 î.Hr.) și **ARHIMEDE** (287 – 212 î.Hr.), abia câteva secole mai târziu **NEWTON** (1642 - 1727) a elaborat principiile fundamentale ale acestei științe. Aceste principii au fost reformulate într-o modalitate abstractă de către **D’ALEMBERT**, **LAGRANGE** și **HAMILTON**. Valabilitatea acestora a rămas nemodificată până când în 1905 **EINSTEIN** a formulat *teoria relativității*.

Studiul mecanicii elementare se bazează pe șase principii fundamentale bazate de dovezi experimentale:

**Legea paralelogramului pentru suma forțelor.** Aceasta susține că două forțe care acționează asupra unei particule pot fi înlocuite printr-o singură forță, numită *rezultanta* acestora, și care se obține trasând diagonală paralelogramului având laturile alăturate de lungime egală cu modulele celor două forțe (v. Secțiunea 2.2).

**Principiul transmisibilității.** Acesta susține că starea de echilibru sau de mișcare a unui solid rigid nu se modifică dacă forța care acționează asupra unui punct al corpului este înlocuită cu o altă forță care are același modul, direcție și sens, dar acționează în alt punct (v. Secțiunea 3.3).

**Cele trei legi fundamentale ale lui NEWTON.** Formulate de **ISAAC NEWTON** în a doua jumătate a secolului al XVII-lea, aceste legi pot fi enunțate astfel:

**PRIMA LEGE.** Dacă rezultanta forțelor care acționează asupra unei particule este nulă, atunci particula își menține starea de repaus (dacă inițial a fost în repaus) sau de mișcare rectilinie uniformă (dacă inițial a fost în mișcare) (v. Secțiunea 2.10).

**A DOUA LEGE.** Dacă rezultanta forțelor care acționează asupra unei particule nu este nulă, aceasta va avea o accelerație proporțională cu modulul forței rezultante, în direcția și sensul acesteia. Așa cum se va vedea în Secțiune 12.2, această lege poate fi formulată astfel:

$$\mathbf{F} = m \mathbf{a}, \quad (1.1)$$

unde:

$\mathbf{F}$  = forța rezultantă care acționează asupra particulei;

$m$  = masa particulei;

$\mathbf{a}$  = accelerația particulei.

**A TREIA LEGE.** Forțele de acțiune și reacțiune dintre două corpuri aflate în contact au aceeași direcție și modul, dar sens opus (Secțiune 6.1).

**Legea gravitației a lui NEWTON.** Aceasta susține că două particule de masă  $M$  și  $m$  se atrag reciproc cu forțe opuse  $\mathbf{F}$  și  $-\mathbf{F}$  (Fig. 1.1) și al căror modul este:

$$F = K \frac{Mm}{r^2}, \quad (1.2)$$

unde:

$r$  = distanța dintre particule;

$K$  = constantă universală (*constantă gravitațională*).

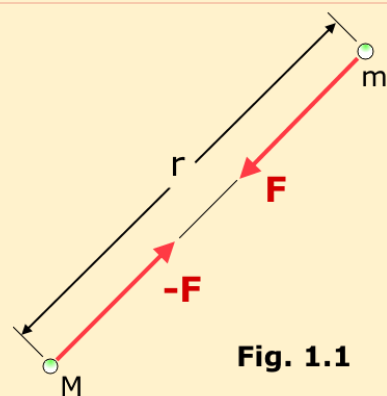


Fig. 1.1

Legea gravitației a lui **NEWTON** introduce ideea acțiunii de la distanță și extinde domeniul de aplicație al legii a treia a lui Newton: acțiunea **F** și reacțiunea **-F** din fig. 1.1 sunt egale în modul, au aceeași direcție, dar sunt opuse ca sens.

Un caz particular de o deosebită importanță îl constituie cel al atracției terestre asupra unei corp situat pe suprafața Pământului. Forța **F** exercitată de Pământ asupra unei particule este definită ca fiind *greutatea G* a particulei respective. Dacă *M* este masa Pământului, *m* masa particulei și *r* egal cu raza terestră *R*, introducând constanta:

$$g = \frac{KM}{R^2}, \quad (1.3)$$

atunci modulul greutatei corpului de masă *m* este:

$$G = mg. \quad (1.4)$$

Valoarea lui *R* din formula (1.3) depinde de înălțimea punctului considerat, de asemenea depinde și de latitudinea sa, deoarece Pământul nu este perfect sferic. Așadar, valoarea lui *g* variază cu poziția punctului considerat. Dar, atât timp cât punctul se află pe suprafața solului, putem considera valoarea aproximativă:  $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$ .



**Foto 1.1** Aflate pe o orbită terestră, oamenii și obiectele spunem că sunt *imponderabile*, chiar și atunci când forța gravitațională este circa 90% din cea resimțită pe Pământ. Această aparentă contradicție va fi explicată în Cap. 12.

*Observație.* O formulă mai exactă pentru *G* decât (1.4) trebuie să ia în considerație și rotația Pământului.

Principiile trecute în revistă vor fi introduse în acest curs de mecanică în momentul în care sunt necesare. Astfel, studiul staticii particulelor realizat în Cap. 2 va fi bazat pe metoda paralelogramului de însumare a vectorilor și prima lege a lui **NEWTON**.

Principiul transmisibilității va fi introdus în Cap. 3, în care se studiază statica solidului rigid, iar legea a treia a lui **NEWTON** în Cap. 6, unde se analizează forțele exercitate între ele de mai multe părți ale unui sistem.

Principiul al doilea al lui **NEWTON** și legea newtoniană a gravitației vor fi introduse în studiul dinamicii.

Se va demonstra că prima lege a lui **NEWTON** este un caz particular al celei de-a doua (Sect. 12.2) și că principiul transmisibilității poate fi dedus din celelalte principii și astfel poate fi eliminat.

Deci prima și a treia lege a lui **NEWTON**, legea paralelogramului și principiul transmisibilității vor constitui baza întregului studiu al staticii particulelor, corpurilor rigide și sistemelor de corpuri rigide.

După cum s-a remarcat anterior, cele șase principii enumerate sunt bazate pe studii experimentale. Excepție fac primul principiu al lui **NEWTON** și principiul transmisibilității, care sunt independente și nu pot fi deduse matematic unul din celălalt. Din aceste principii rezultă structura complexă a mecanicii newtoniene. Pentru mai mult de două secole, un mare număr de probleme privind corpurile rigide, cele deformabile și fluidele au fost rezolvate pe baza acestor principii fundamentale. Multe din soluțiile obținute au putut fi verificate experimental și aceasta confirmând valabilitatea principiilor din care au fost obținute. În secolul al XX-lea, mecanica lui **NEWTON** nu mai corespundea studiului mișcării la nivel atomic sau la nivel cosmic. Considerarea mișcării de viteză apropiată sau egală cu cea a luminii impunea ca Mecanica clasică să fie completată cu Teoria relativității.

## 1.3. SISTEME DE UNITATI

Cele patru concepte fundamentale introduse în secțiunea anterioară sunt asociate unor așa numite *unități cinetice* adică unități de *lungime*, *timp*, *masă* și *forță*. Aceste unități nu pot fi alese independent dacă trebuie ca ecuația (1.1) să fie satisfăcută. Trei din aceste unități pot fi alese arbitrar, în care caz sunt numite *unități de bază*. A patra trebuie să fie aleasă în concordanță cu (1.1). Spunem că unitățile cinetice stabilite în acest mod formează un *sistem consistent de unități*.



**Sistemul Internațional de Unități (SI).** În acest sistem unitățile de măsură de bază sunt cele pentru lungime, masă și timp și sunt numite respectiv: *metru* (m), *kilogram* (kg) și *secundă* (s) și sunt definite arbitrar. Astfel, secunda, care inițial a fost aleasă ca fiind 1/86.400 din anul solar mediu, este acum definită ca durată a 9.192.631.770 perioade ale radiației corespunzătoare tranziției între două nivele ale stării fundamentale ale atomului de cesiu 133.

Metrul, definit inițial ca fiind 1/1000.000 din distanța de la ecuator la unul din polii terestri, este acum definit ca fiind 1.650.763,73 lungimi de undă ale luminii roșii-portocalii corespunzătoare unei anumite tranziții în cadrul atomului krypton 86.

Kilogramul, care este aproximativ masa a 0,001 m³ de apă, este definit ca masa etalonului de platină-iridiu păstrat la Biroul de Măsură și Greutăți de la Sèvres, lângă Paris.

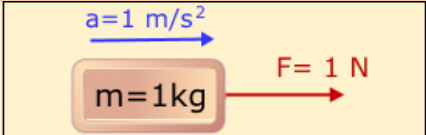
Unitatea de măsură pentru forță este o unitate derivată, numită *newton* (N) și este definit ca fiind forța care imprimă o accelerație de 1 m/s² unei mase de 1 kg (**Fig. 1.2**). Conform ecuației (1.1) se poate scrie:

$$1\,N = \langle 1\,kg \rangle \langle 1m/s^2 \rangle = 1\,kg \cdot m/s^2 \tag{1.5}$$

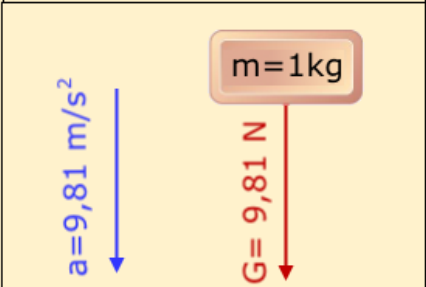
Unitățile SI spunem că formează un sistem *absolut* de unități. Aceasta înseamnă că acestea nu sunt influențate de locul unde se efectuează măsurătorile: metrul, kilogramul și secunda au aceeași semnificație chiar și pe altă planetă.

*Greutatea* unui corp sau *forța de gravitație* exercitată asupra corpului, ca orice altă forță se exprimă în newtoni. Din ecuația (1.4) rezultă că greutatea unui corp de masă 1 kg (**Fig. 1.3**) este:

$$W = mg = \langle 1\,kg \rangle \langle 9,81m/s^2 \rangle = 9,81\,N.$$



**Fig. 1.2**



**Fig. 1.3**

Multiplii și submultiplii unităților fundamentale din SI pot fi obținute cu ajutorul prefixelor definite în **Tabelul 1.1**. Astfel, multiplii și submultiplii pentru lungime, masă și forță cei mai utilizați sunt: *kilometrul* (km), *milimetrul* (mm), *gramul* (g) și *kilonewtonul* (kN). Conform **tabelului 1.1**, avem:

1 km = 1000 m	1 mm = 0,001 m	1 Mg = 1000 kg
1 g = 0,001 kg	1 kN = 1000 N.	

Tabelul 1.1. Prefixe SI		
Factor de multiplicare	Prefix	Simbol
1.000.000.000.000 = 10 <sup>12</sup>	tera	T
1.000.000.000 = 10 <sup>9</sup>	giga	G
1.000.000 = 10 <sup>6</sup>	mega	M
1.000 = 10 <sup>3</sup>	kilo	k
100 = 10 <sup>2</sup>	hecto*	h
10 = 10 <sup>1</sup>	deca*	da
0,1 = 10 <sup>-1</sup>	deci*	d
0,01 = 10 <sup>-2</sup>	centi*	c

$0,001 = 10^{-3}$	mili	m
$0,000.001 = 10^{-6}$	micro	$\mu$
$0,000.000.001 = 10^{-9}$	nano	n
$0,000.000.000.0001 = 10^{-12}$	pico	p
$0,000.000.000.000.0001 = 10^{-15}$	femto	f
$0,000.000.000.000.000.0001 = 10^{-18}$	atto	a

\* Utilizarea unor astfel de prefixe se evită pe cât posibil, cu excepția măsurării ariilor și volumelor.

Utilizând notația științifică se poate scrie de exemplu:

$$3,82 \text{ km} = 3,82 \times 10^3 \text{ m}$$

$$47,2 \text{ mm} = 47,2 \times 10^{-3} \text{ m}.$$

Multipli și submultipli timpului sunt: *minutul* (min) și *ora* (h). Avem:  $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$  și  $1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$ .

**Unități de arie și volum.** Unitatea de măsură pentru arie este *metrul pătrat* ( $\text{m}^2$ ), care reprezintă aria unui pătrat cu latura de 1 m; unitatea de măsură pentru volum este *metrul cub* ( $\text{m}^3$ ). Pentru a se evita utilizarea valorilor numerice prea mici sau prea mari, sunt permisi și multipli și submultipli tolerați ca *decimetrul* (dm) și *centimetrul* (cm). Deoarece, prin definiție:

$$1 \text{ dm} = 0,1 \text{ m} = 10^{-1} \text{ m}$$

$$1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m} = 10^{-2} \text{ m}$$

$$1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m} = 10^{-3} \text{ m}$$

rezultă că submultipli unității de arie sunt:

$$1 \text{ dm}^2 = (1 \text{ dm})^2 = (10^{-1} \text{ m})^2 = 10^{-2} \text{ m}^2 \quad 1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2 \quad 1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2$$

iar submultipli unității de volum sunt:

$$1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3 \quad 1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3 \quad 1 \text{ mm}^3 = 10^{-9} \text{ m}^3.$$

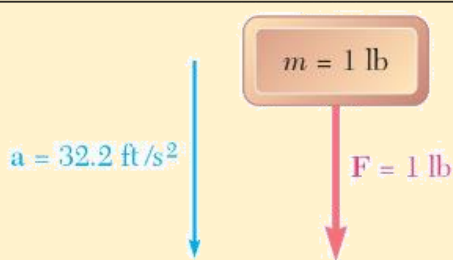
Trebuie notat faptul că, pentru lichide, decimetrul cubic este numit *litru*.

Alte mărimi derivate din SI sunt prezentate în **Tabelul 1.2**.

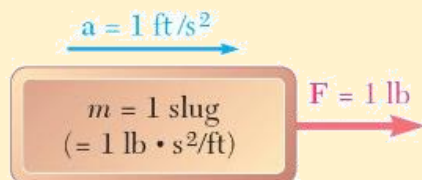
<b><u>Tabelul 1.2. Principalele unități SI utilizate în mecanică</u></b>			
Cantitate	Unitate	Simbol	Formulă
Accelerație	Metru pe secundă la pătrat		$\text{m/s}^2$
Accelerație unghiulară	Radian pe secundă la pătrat	...	$\text{rad/s}^2$
Arie	Metru pătrat	...	$\text{m}^2$
Densitate	Kilogram pe metru cub	...	$\text{kg/m}^3$
Energie	Joule	J	$\text{N} \cdot \text{m}$

Forță	Newton	N	$\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$
Frecvență	Hertz	Hz	$\text{s}^{-1}$
Impuls	Newton-secundă	...	$\text{kg} \cdot \text{m/s}$
Lucru mecanic			
<b>Lungime</b>	Metru	m	★
<b>Masă</b>	Kilogram	kg	★
Moment al forței	Newton-metru		$\text{N} \cdot \text{m}$
Putere	Watt	W	$\text{J/s}$
Presiune			
<b>Timp</b>	Secundă	s	★
Unghi	Radian	rad	
Viteză	Metru pe secundă	...	$\text{m/s}$
Viteză unghiulară	Radian pe secundă	...	$\text{rad/s}$
Volum - Solide - Lichide	Metru cub Litru	... L	$\text{m}^3$ $10^{-3}\text{m}^3$

★ – Unitate de bază



**Fig. 1.4**



**Fig. 1.5**

## 1.4. CONVERSIA DINTR-UN SISTEM INTR-ALTUL

## 1.5. METODA SOLUTIEI PROBLEMEI

## 1.6. PRECIZIA NUMERICA

# 02. STATICA PARTICULELOR

## INTRODUCERE

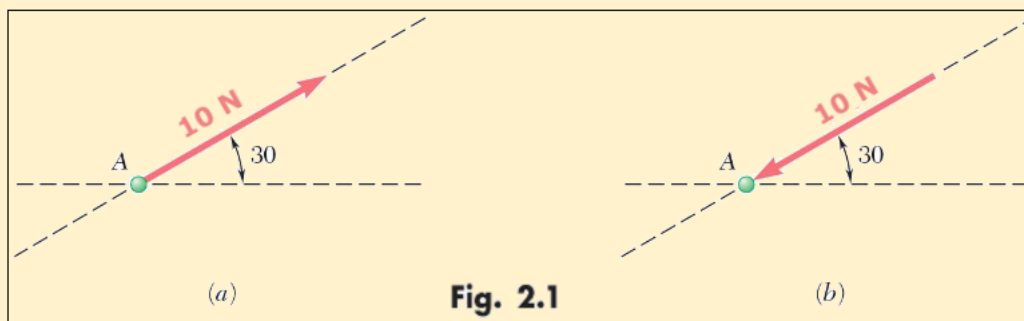
În acest capitol se vor studia efectele forțelor asupra particulelor. Mai întâi se va vedea cum două sau mai multe forțe care acționează asupra unei particule pot fi înlocuite cu o singură forță având același efect, forță numită *rezultanta* sistemului de forțe care acționează asupra particulei. Mai târziu se va vedea cum din relațiile care există între forțele care acționează asupra unei particule aflate în echilibru pot fi obținute unele din aceste forțe.

Utilizarea cuvântului "particulă" nu înseamnă că studiul se limitează la corpuri de mici dimensiuni, ci la faptul că forma și dimensiunile corpurilor considerate sunt neglijabile, iar forțele care acționează asupra unui corp sunt presupuse ca fiind aplicate în același punct.

Prima parte a acestui capitol este dedicată studiului forțelor aflate în același plan, iar partea a doua analizei forțelor aflate în spațiul tridimensional.

## FORTE IN PLAN. REZULTANTA

O forță reprezintă acțiunea unui corp asupra altuia și este caracterizată printr-un *punct de aplicație*, *modul* și *orientare*. După cum s-a precizat, se va considera că forțele care acționează asupra unei particule au același punct de aplicație. În SI, modulul forței se măsoară în newtoni. Orientarea unei forțe este definită prin *direcție* și *sens*. Direcția reprezintă dreapta de-a lungul căreia acționează forța și poate fi definită prin unghiul pe care îl formează aceasta cu o axă fixă (**Fig. 2.1**).

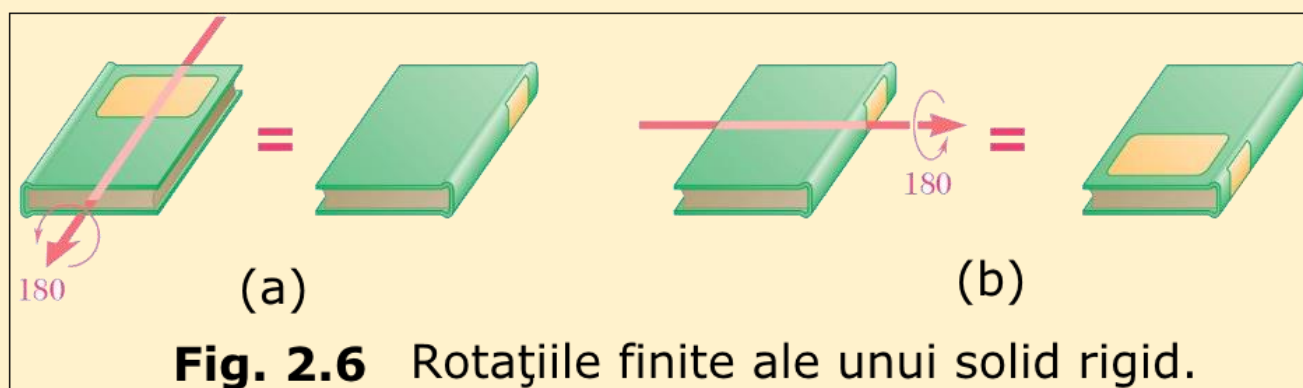
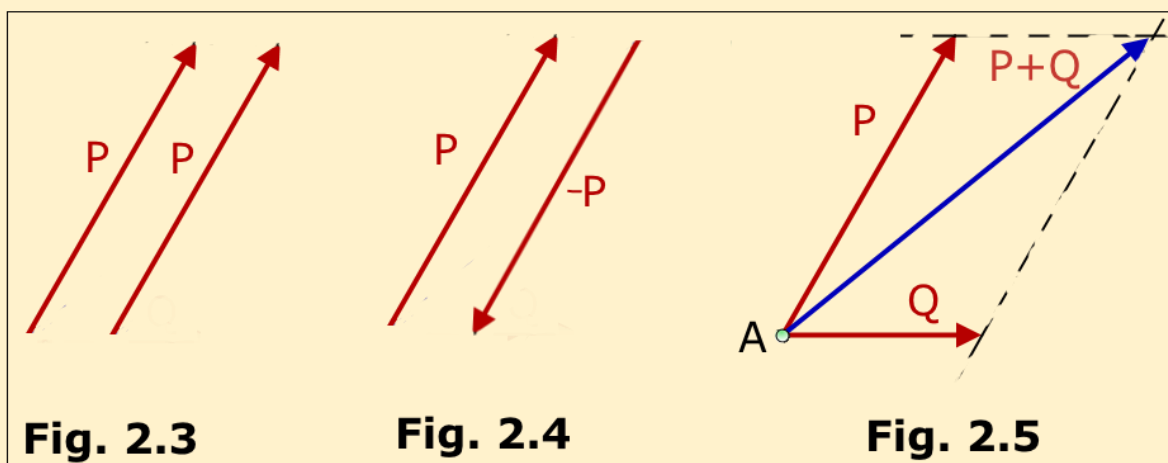
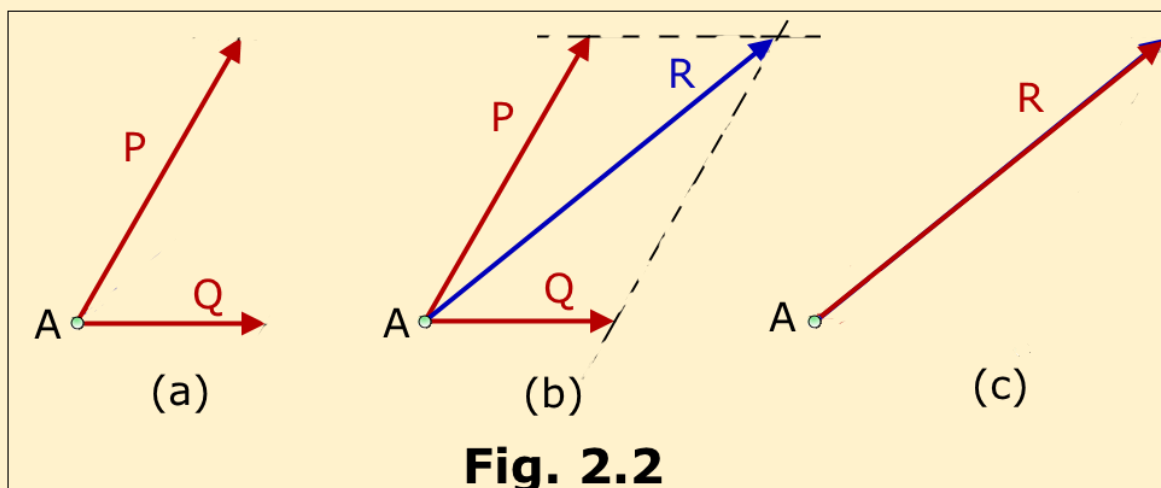


Astfel, forța poate fi reprezentată printr-un segment situat pe acea dreaptă, de lungime egal cu modulul forței, iar sensul forței este indicat printr-o săgeată. Acest ultim aspect este esențial, două forțe de același modul, direcție, dar sensuri opuse, având efecte contrarii (**Fig. 2.1 a, b**).

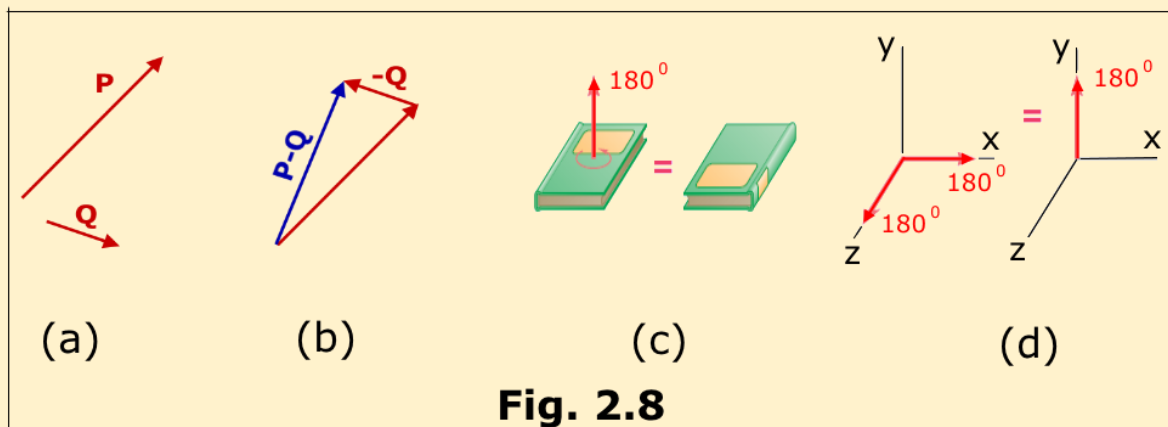
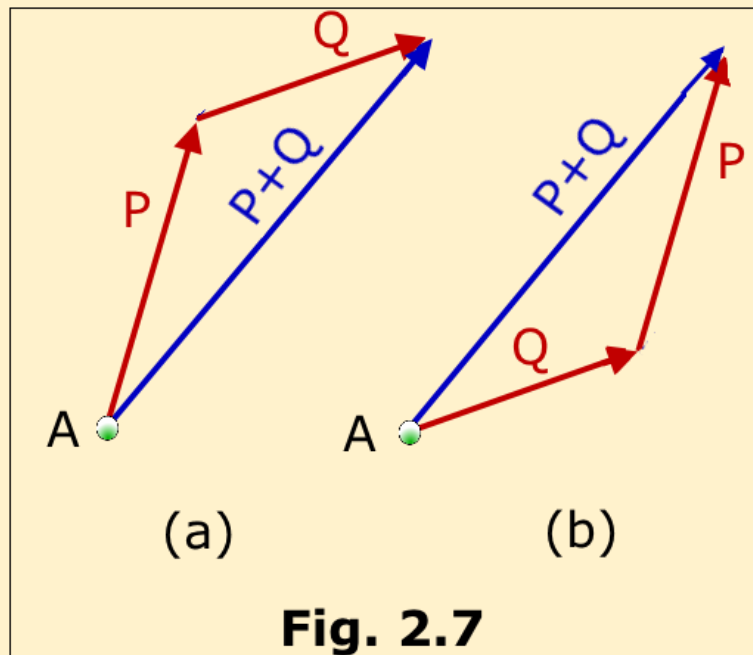
Experimental s-a dovedit că două forțe **P** și **Q** acționând asupra unei particule (**Fig. 2.2 a**) pot fi înlocuite printr-o singură forță **R** care să aibă același efect, numită *rezultanta* celor două forțe. Aceasta poate fi obținută (**Fig. 2.2 b**) construind paralelogramul ce are ca laturi adiacente **P** și **Q**. *Rezultanta este diagonala care trece prin A*. Aceasta este *regula paralelogramului*.

## 2.3 VECTORI

Din cele de mai sus rezultă că în cazul forțelor nu sunt valabile regulile algebrice de adunare. Astfel, dacă două forțe de module 3N și 4N acționează asupra unei particule, iar direcțiile forțelor sunt perpendiculare, atunci rezultanta va avea modulul 5N și nu 7N.







## ADUNAREA VECTORILOR

# REZULTANTA UNOR FORTE CONCURENTE

## DESCOMPUNEREA UNEI FORTE IN COMPONENTE

### 03. CORPUL SOLID: ECHIVALENTUL SISTEMELOR DE FORTE

## **04. ECHILIBRUL SOLIDULUI RIGID**

## **05. DISTRIBUTIE DE FORTE: CENTRUL DE MASA SI CENTRUL DE GRAVITATIE**

## **06. ANALIZA STRUCTURILOR**

## **07. FORTE IN GRINZI SI CABLURI**

## **08. FRECARIA**

## **09. FORTE DISTRIBUITE: MOMENTUL DE INERTIE**

## **10. METODA LUCRULUI MECANIC VIRTUAL**

## **11. CINEMATICA PARTICULELOR**

## **12. CINETICA PARTICULELOR: A DOUA LEGE A LUI NEWTON**

## **13. CINETICA PARTICULELOR: METODA ENERGIEI SI A MOMENTULUI**

## **14. SISTEME DE PARTICULE**



## **15. CINEMATICA SOLIDULUI RIGID**

## **16. MISCAREA IN PLAN A CORPULUI RIGID: FORTE SI ACCELERATII**

# **17. MISCAREA IN PLAN A CORPULUI**

## **RIGID: METODA ENERGIEI SI A**

## **MOMENTULUI**

# **18. CINETICA TRIDIMENSIONALA A SOLIDULUI RIGID**

## **19. VIBRATII MECANICE**

## **20. ANEXA**

